

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Optimalizace počtu přestupních uzlů v linkové síti Dopravního
podniku města Olomouce

The Numer of Change Stations in Network of Transportation
Company Olomouc City Optimization

Student:

Andrea Kuncová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Andrea Kuncová**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2301R002 Dopravní technika**
Téma: **Optimalizace počtu přestupních uzlů v linkové síti Dopravního podniku města Olomouce.**
The Number of Change Stations in Network of Transportation Company Olomouc City Optimization

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Zabývat se aplikací metod lineárního programování při minimalizaci počtu přestupních uzlů v síti linek MHD v Olomouci.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod.
2. Definování problému a formulace cílů práce.
3. Teoretická východiska řešení - charakteristika a výběr vhodného řešícího aparátu.
4. Analýza podkladů pro optimalizační výpočet.
5. Sestava matematického modelu pro řešení úlohy a realizace optimalizačního výpočtu.
6. Zhodnocení dosažených výsledků a formulace souvisejících doporučení.
7. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

Černý, J.; Kluvánek, P.: Základy matematické teorie dopravy. Bratislava: VEDA, 1990. 279 s. ISBN 80-224-0099-8
Surovec, P.: Provoz a ekonomika silniční dopravy I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 119 s. ISBN 80-7078-735-X

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Šmrcl, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě21.5.2010.....

.....Kučera.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2010

Kuncová

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Andrea Kuncová

Adresa trvalého pobytu autora práce: Na Kopci 47

Velký Týnec, 783 72

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KUNCOVÁ, A. *Optimalizace počtu přestupních uzlů v linkové síti Dopravního podniku města Olomouce: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010, 38 s. Vedoucí práce: Teichmann, D.

Bakalářská práce se zabývá optimalizací počtu přestupních uzlů v linkové síti Dopravního podniku města Olomouce. Úvodní kapitoly se věnují problematice výpočtu doby přepravy, následující kapitoly jsou věnovány teoretickým východiskům řešení, jejich charakteristikám a výběru vhodného řešícího aparátu, sestavě matematického modelu řešeného problému a optimalizačnímu výpočtu. K řešení bylo využito metod lineárního programování. Po sestavení matematického modelu byla provedena transformace do textu programu v programovacím jazyce Mosel. Výpočty byly prováděny v optimalizačním software Xpress – IVE. Závěrečné kapitoly jsou věnovány zhodnocení dosažených výsledků a formulace souvisejících doporučení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KUNCOVÁ, A. *The Numer of Change Stations in Network of Transportation Company Olomouc City Optimization: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2010, 38 p. Thesis head: Teichmann, D.

Bachelor thesis deals with optimization the number of change stations in network of transportation company Olomouc city. Introductory chapters deal with the issue of calculating transit times, the following chapters are devoted to theoretical solutions addressing, their characteristics and selection of an appropriate addressing system, group mathematical model solved the problem and the optimization calculation. The solutions were used linear programming methods. After compiling the mathematical model was implemented to transform the program text in a programming language Mosel. Calculations were performed in the optimization software Xpress - IVE. The final chapters are devoted to evaluation of results achieved and the formulation of related recommendations.

OBSAH

	Strana
0 Seznam použitého značení	7
1 Úvod	8
2 Definování problému a formulace cílu práce	9
2.1 Cíl práce	9
2.2 Definování problému	9
3 Teoretická východiska řešení – charakteristika a výběr vhodného řešícího aparátu	11
3.1 Analýza doby přemístění v MHD	11
3.2 Interakce doby přemístění a kvality	13
3.3 Specifika řešící metody	14
4 Analýza podkladů pro optimalizační výpočet	18
4.1 Stručná charakteristika DPMO z pohledu řešeného tématu	19
4.2 Seznam kandidátů na přestupní uzly	19
4.3 Výběr období pro provedení optimalizace	34
5 Sestava matematického modelu pro řešení úlohy a realizace optimalizačního výpočtu	35
5.1 Koncepce matematického modelu	35
5.2 Matematický model pro minimalizaci počtu přestupních uzlů	36
5.3 Postup řešení – Software Xpress – IVE	37
5.4 Realizace optimalizačního výpočtu	41
6 Zhodnocení dosažených výsledků a formulace souvisejících doporučení	43
7 Závěr.....	45

Seznam použitého značení

Seznam použitých zkratk

DPMO	- Dopravní podnik města Olomouce
MHD	- městská hromadná doprava
MŽ	- Moravské železárny

Seznam použitého značení

t_p	. doba přemístování	[min]
t_1	. doba chůze od zdroje (ode dveří) k zastávce MHD	[min]
t_{ξ}	. doba čekání na spoj	[min]
t_{dp}	. doba pobytu v dopravním prostředku	[min]
t_{pre}	- doba přestupu (doba chůze a čekání na spoj při přestupu)	[min]
t_2	- doba chůze od zastávky k cíli (ke dveřím)	[min]
$t_{1,2}$. doba chůze cestujícího z místa, ze kterého cestující vychází, k nejbližší v úvahu přicházející zastávce veřejné hromadné dopravy nebo od zastávky veřejné hromadné dopravy do cíle cesty	[min]
l_{cest}	. střední délka chůze cestujícího k nejbližší v úvahu přicházející zastávce	[km]
V_{ch}	- rychlost chůze (4,0 až 4,4)	[km.h ⁻¹]
t_{ξ}	- průměrná doba čekání na spoj	[min]
i	- plánovaný interval dopravy	[min]
V_k	. variační koeficient intervalu dopravy	[-]
t_{dp}	. doba přepravy	[min]
l_z	. ujetá dráha	[km]
V_c	- cestovní rychlost	[km.h ⁻¹]
y_u	- proměnná modelující rozhodnutí o tom, zda uzel $u \in U_0$ bude přestupní, či nikoliv	[-]
U_0	- širší množina přestupních uzlů	[-]
U_{ir}	- množina přestupních uzlů pro dvojici linek l_i a l_r , mezi kterými se přestupuje	[-]
L_u	- množina linek projíždějících přestupním uzlem $u \in U_0$	[-]
l_i	- linka i	[-]
l_r	- linka r	[-]

1 Úvod

Veřejná hromadná doprava je nedílnou složkou dopravní soustavy každého státu. Netvoří pouze doplňkový podsystém systému dálkové veřejné dopravy, z hlediska objemů přepravního výkonu je jeho rovnocenným partnerem.

Základními problémy, které jsou v podmínkách organizace městské hromadné dopravy řešeny, jsou problémy určení tras jednotlivých linek, určení počtu spojů, které mají jednotlivé linky obsluhovat, k určení oběhů hromadných dopravních prostředků a časová koordinace spojů mezi kterými se přestupuje.

V souvislosti s posledně uvedeným problémem vystupuje do popředí otázka, ve kterých místech se mají přestupy organizovat – tj. identifikace přestupních uzlů. Jedním z oprávněných požadavků, který se vyskytuje, je požadavek, aby se přestupovalo v minimálním počtu míst. Jedině tak totiž může být síť linek, zejména ve větších městech, přehledná pro uživatele, který v rámci cestování nevyužívá pouze trasy typu bydliště – pracoviště, bydliště – škola apod..

Předložená bakalářská práce si klade za cíl zformulovat problém týkající se minimalizace přestupních uzlů a posoudit možnosti jeho řešení.

2 Definování problému a formulace cílů práce

2.1 Cíl práce

Cílem práce je zabývat se možnostmi uplatnění metod lineárního programování při minimalizaci počtu přestupních uzlů v síti linek městské hromadné dopravy v Olomouci. Cílem práce je tedy sestavit lineární matematický model, jehož řešením by bylo možno v síti Dopravního podniku města Olomouc minimalizovat počet přestupních uzlů. Za účelem splnění tohoto cíle je zapotřebí sestavit množinu potenciálních přestupních uzlů, naformulovat optimalizační kritérium a soustavu omezujících podmínek. Následně je zapotřebí sestavený matematický model vyřešit, nejlépe pomocí vhodného a dostupného optimalizačního software.

2.2 Definování problému

V síti linek městské hromadné dopravy nastává velice často situace, kdy je cestující ze zdroje do cíle své cesty nucen použít spojů více linek, protože nemá k dispozici přímé spojení. Každý přestup s sebou přináší celou řadu problémů a to jak z pohledu cestujícího, tak i z pohledu dopravce, který se snaží poskytovat co nejkvalitnější služby.

Z pohledu cestujícího dochází vlivem přestupů k prodlužování doby přepravy. Důvody jsou zřejmé. Cestující, kteří přestupují, ztrácejí čas, vlivem činností jakými jsou:

- výstupy z dopravních prostředků,
- nástupy do dopravních prostředků,
- přesuny mezi stanovišti hromadných dopravních prostředků,
- čekání na přípojně spoje jedoucí ve směru k cíli cesty.

To vše přispívá ke znevýhodňování veřejné hromadné dopravy ve srovnání s individuální automobilovou dopravou.

Uvážíme-li dále, že hromadná doprava je využívána i občany se sníženou pohyblivostí, nabývá uvedený problém také sociálního rozměru.

Z pohledu dopravce, který se snaží poskytovat co nejkvalitnější služby, dochází vlivem vyššího počtu přestupních míst v síti linek, než je nezbytně nutné, ke komplikacím při plánování časové koordinace přípojných spojů.

Z pohledu dopravních charakteristik městské hromadné dopravy dochází vlivem vyšší přestupovosti ke snižování cestovní rychlosti, což je jedno z nejdůležitějších kritérií, podle kterých cestující hodnotí kvalitu hromadné osobní dopravy. Vlivem vyšší přestupovosti dochází navíc ke snížení pohodlí při přemístění, a to jak pohodlí ve vozidle, tak i pohodlí mimo vozidlo. Při organizaci přestupů cestujících je nutno také dbát vyšších nároků na informovanost.

Dalším významným aspektem, který je nutno při organizaci přestupů zohledňovat, je skutečnost, že v místech přestupů cestujících jsou kladeny vyšší nároky na zajištění bezpečnosti osob (například při přecházení pozemních komunikací). Při vyšší míře přestupovosti je třeba budovat více zařízení usnadňujících přestup, jako např. podchody, nadchody, eskalátory, pohyblivé chodníky, či jiná zařízení sloužící k usnadnění pohybu handicapovaným občanům, občanům se sníženou pohyblivostí, občanům s kočárky, apod. Vlivem vyššího počtu přestupních uzlů také může docházet k vyšší ekonomické náročnosti a to nejenom z hlediska investic, ale také z hlediska následného udržování vybudovaných zařízení v provozuschopném stavu.

Nejsou-li v místech přestupů vybudovány výše uvedené mimoúrovňové stavby umožňující segregaci cestujících veřejnosti od okolního provozu, zejména individuální automobilové dopravy, která je v okolí přestupních uzlů zpravidla značná, je nutno významněji zachovat bezpečnost při úrovnovém křížení komunikací pro chodce a vozidla. Nejčastěji se při zvyšování bezpečnosti přestupujících cestujících volí takové formy opatření, které snižují rychlost vozidel, což má za následek, snížení plynulosti dopravy, které způsobuje další negativa v podobě kongescí a vyššího objemu produkovaných emisí. Všechny uvedené faktory mohou mít za následek nižší atraktivitu veřejné hromadné dopravy a z toho plynoucí nezájem o nabízené služby ze strany cestujících veřejnosti.

Z výše uvedeného textu vyplývá, že rozhodování o volbě míst v síti linek určených k přestupování patří k problémům významně ovlivňujícím zájem o přepravu. V předložené bakalářské práci bude pozornost věnována problematice minimalizace počtu přestupních uzlů v síti linek Dopravního podniku města Olomouce.

Protože doby související s přestupem cestujících v přestupních uzlech jsou nedílnou součástí doby přemístění v městské hromadné dopravě, bude následující kapitola věnována analýze doby přemístění cestujících.

3 Teoretická východiska řešení – charakteristika a výběr vhodného řešícího aparátu

Teoretická východiska řešení problému se dají rozdělit do dvou skupin, a to na technologické aspekty vyplývající ze specifík veřejné hromadné dopravy a na specifika řešícího aparátu.

3.1 Analýza doby přemístění v MHD

Základním technologickým aspektem je doba přemístění. Doba přemístění v městské hromadné dopravě musí zahrnovat všechny časové složky, které s přepravou cestujícího od zdroje do cíle cesty obsahují. Velmi často se pro dobu přemístění používá název doba přepravy „ode dveří ke dveřím“. Pro určení celkové doby přepravy tak zvané „ode dveří ke dveřím“ používáme vzorec (3.1), viz [6]:

$$t_p = t_1 + t_{\xi} + t_{dp} + t_{pre} + t_2 \quad (3.1)$$

kde:

t_p ... doba přemísťování [min]

t_1 ... doba chůze od zdroje (ode dveří) k zastávce MHD [min]

t_{ξ} ... doba čekání na spoj [min]

t_{dp} ... doba pobytu v dopravním prostředku [min]

t_{pre} ... doba přestupu (doba chůze a čekání na spoj při přestupu) [min]

t_2 ... doba chůze od zastávky k cíli (ke dveřím) [min]

Doba chůze se vypočítá z délky cesty z místa, ze kterého cestující vychází, k nejbližší v úvahu přicházející zastávce veřejné hromadné dopravy, resp. ze zastávky veřejné hromadné dopravy nejbližší místu, které je cílem cesty cestujícího. Při znalosti průměrné rychlosti chůze, je dobu chůze možno vypočítat ze vztahu (3.2), viz [6]:

$$t_{1,2} = \frac{l_{cest}}{V_{ch}} \cdot 60 \text{ [min]} \quad (3.2)$$

kde:

$t_{1,2}$...doba chůze cestujícího z místa, ze kterého cestující vychází, k nejbližší v úvahu přicházející zastávce veřejné hromadné dopravy nebo od zastávky veřejné hromadné dopravy do cíle cesty [min]

l_{cest} ...střední délka chůze cestujícího k nejbližší v úvahu přicházející zastávce [km]

V_{ch} ...rychlost chůze (4,0 až 4,4) [km.h⁻¹]

Doba čekání na spoj je doba, která se začíná měřit od okamžiku příchodu cestujícího na zastávku a končí okamžikem odjezdu dopravního prostředku požadovaného spoje. V situaci, kdy cestující přichází na zastávku a nezná jízdní řád, se pro výpočet doby čekání na spoj používá vztahu (3.3), viz [6]:

$$t_c = \frac{i}{2} \cdot (1 + V_k^2) \text{ [min]} \quad (3.3)$$

kde:

t_c ... průměrná doba čekání na spoj [min]

i ... plánovaný interval dopravy [min]

V_k ...variační koeficient intervalu dopravy

Intervalem dopravy se rozumí časový úsek mezi dvěma po sobě následujícími spoji stejné linky v jednom přepravním směru měřený v profilu komunikace [6].

Doba pobytu v dopravním prostředku je dána vztahem (3.4), viz [6]:

$$t_{dp} = \frac{l_z}{V_c} \cdot 60 \text{ [min]} \quad (3.4)$$

kde:

t_{dp} ... doba přepravy [min]

l_z ... ujetá dráha [km]

V_c ... cestovní rychlost [km.h⁻¹]

Ujetou dráhou se rozumí dráha, která je měřená v ose dopravní cesty, po které je vedena linka mezi konečnými zastávkami [6].

Cestovní rychlostí se rozumí rychlost, která se vypočítá jako podíl ujeté vzdálenosti a cestovní doby, mezi dvěma místy na lince [6].

Používá-li cestující k přepravě jenom jednu linku, je ujetá dráha stejná jako provozní délka linky [6].

Doba přestupu je součet doby výstupu z dopravního prostředku, doby chůze mezi okamžikem výstupu z dopravního prostředku a okamžikem nástupu do následujícího dopravního prostředku a doby čekání na další spoj [6].

3.2 Interakce doby přemístění a kvality

Kvalita městské hromadné dopravy je vymezena komplexem různorodých vlivů, v oblasti použité techniky, technologie, organizace a řízení, které mají vliv na fyzický a psychický stav cestujících při procesu jejich přemísťování. V současné době existují pokusy o sestavení matematických modelů, které by umožňovaly zohledňovat různá kritéria podle kterých se posuzuje kvalita přemísťovacího procesu. Už delší dobu existuje snaha vytvořit matematický model, který bude komplexní, což znamená, že bude zahrnovat, jak subjektivní složku měření spokojenosti cestujících, tak složku hodnocení městské hromadné dopravy z pohledu dopravce, resp. poskytovatele dotací.

I přes snahu vyhovět v co největší míře cestujícím, je povinností dopravce plánovat své provozní procesy efektivně, což v podstatě znamená minimalizovat náklady nebo také plnit přepravní požadavky při co nejnižším počtu najetých kilometrů. Minimalizace počtu najetých kilometrů přináší významný efekt nejen z hlediska úspory nákladů na pohonné hmoty, ale také z hlediska snížení počtu povinných servisních kontrol vozidel, které se vykonávají na základě ujetých kilometrů. Zmenší se počet poruch na vozidlech, které souvisejí s jejich používáním, sníží se produkce škodlivin, výkony realizované nižším počtem nasazených dopravních prostředků umožňují snižovat počet zaměstnanců a tedy i mzdové náklady.

Další z možností vedoucí k zefektivnění přepravy je eliminace zastavování dopravních prostředků v místech na dané trase, kde se nevyskytuje poptávka po přepravě. Takové zastávky bývají zpravidla situovány na méně osídlených místech. V kontextu odborné terminologie označujeme uvedené zastávky termínem zastávky s nízkou hodnotou součinitele výměny cestujících. Další skupinu zastávek ve kterých je možno eliminovat zastavování tvoří zastávky nacházející se v blízkosti jiných významnějších zastávek. Při rozhodování o snižování počtu zastávek je třeba zohledňovat docházkovou vzdálenost.

Minimalizací počtu zastavení se zvyšuje cestovní rychlost, prodlužuje však docházková vzdálenost.

Minimalizací počtu zastavení dochází k úsporám nejenom z časového hlediska, snižuje se rovněž opotřebení mechanismů zajišťujících otevírání a zavírání dveří, v zimních

měsících nedochází k tak velkým tepelným únikům, také dochází ke snížení spotřeby paliva, menšímu opotřebovávání převodových ústrojí apod..

Mnohdy se však stává, že snahy dopravce o jakoukoliv úsporu se dostávají do konfliktu s uživateli služeb – cestujícími. Každá snaha o racionalizaci se setkává se značnou kritikou, přičemž není výjimečné, že dopravce nakonec vlivem kritiky od svých racionalizačních záměrů ustoupí.

Neméně důležitá je v městské hromadné dopravě, zejména v situacích, kdy je nižší rozsah nabídky, časová koordinace. I při plánování časové koordinace nejsme schopni plně zohlednit všechny aspekty plynoucí z reálného provozu. Tím se mají na mysli zejména jevy, které časovou koordinaci ovlivňují, ovšem nejsme schopni předpovědět přesnou dobu ani místo jejich výskytu, můžeme pouze předpokládat, že nastanou - jejich vznik je náhodný. Mezi náhodné jevy se počítají, povětrnostní vlivy, které nám mohou zhoršovat kvalitu jízdního povrchu a tedy i jízdní a brzděné vlastnosti vozidel, dopravní nehody, které také mohou způsobit velkou časovou nerovnoměrnost.

3.3 Specifika řešící metody

Řešícím aparátem budou metody lineárního programování, přičemž základem řešení libovolného reálného problému metodami lineárního programování je matematický model. Matematický model je strukturován do dvou částí:

- soustava omezujících podmínek – vymezuje množinu přípustných řešení,
- účelová funkce – umožňuje kvantifikovat hodnotu přípustného řešení z pohledu optimalizované veličiny.

Definovaný problém bude řešen metodami lineárního programování, to znamená, že soustava omezujících podmínek a účelová funkce je udávána pouze v lineárních formách. Proměnné je v lineárním programování povoleno pouze sčítat, odčítat, popřípadě násobit reálným číslem.

Soustava omezujících podmínek zahrnuje kromě podmínek zajišťujících dodržení reálných omezení, tzv. strukturálních podmínek, také specifickou skupinu podmínek nazývanou obligatorní podmínky. Obligatorní podmínky určují v matematickém modelu definiční obory jednotlivých proměnných.

V lineárním programování přicházejí v úvahu tři typy definičních oborů:

1. množina nezáporných čísel,
2. množina nezáporných celých čísel,

3. množina hodnot 0 a 1. Pokud proměnná nabývá pouze hodnot 0 a 1, nazýváme takovou proměnnou bivalentní proměnná.

Definiční obor proměnné závisí na typu rozhodnutí, které pomocí této proměnné modelujeme. Např. modeluje-li proměnná rozhodnutí o počtu vyrobených motorů určitých typů, použije se jako definiční obor množina nezáporných celých čísel. Když se rozhoduje mezi dvěma možnostmi, např. zastaví-li, či nezastaví - li hromadný dopravní prostředek v určitém místě, použije se pro modelování tohoto rozhodnutí bivalentní proměnná. Rozhoduje-li se např. o množství sypkého materiálu, který je možno přepravit nákladním vozidlem, použije se pro modelování množství materiálu naloženého na vozidlo množina nezáporných čísel.

Protože pro každou proměnnou musí být v matematickém modelu zavedena samostatná podmínka, je počet obligatorních podmínek vždy roven počtu proměnných zavedených do dané úlohy.

Počet strukturálních podmínek, tj. podmínek zajišťujících reálná omezení, je roven počtu těchto reálných omezení.

Hodnota účelová funkce musí vyjadřovat hodnotu optimalizované veličiny, musí tedy být reprezentována matematickým výrazem, pomocí kterého je možno tuto hodnotu vypočítat. Z toho vyplývá, že pro konstrukci účelové funkce řešeného problému je nutno sestavit matematický vztah, jehož hodnota by udávala počet přestupních uzlů.

V případě definovaného problému bude při rozhodování volen postup, při kterém se vytvoří širší množina přestupních uzlů (podobně jako se např. při použití širší množiny vytvářejí modely linek). Širší množinu kandidátů na přestupní uzly budou z povahy věci vytvářet existující zastávky veřejné hromadné dopravy, resp. místa, která jsou pro umístění přestupních uzlů výhodná. Není však na závalu, aby do širší množiny kandidátů na přestupní uzly byly zahrnuty i v současnosti neexistující zastávky. To přichází v úvahu zejména v případech, kdy je zvažováno rozšiřování linkové sítě městské hromadné dopravy.

Základním kritériem pro rozhodnutí o tom, zda zastávka může plnit funkci přestupního uzlu, je skutečnost, že uvedenou zastávkou projíždí v období, kdy je s přestupy uvažováno, minimálně dvě linky. Rozhodující podmínkou realizace přestupu tak je, že se musí jednat o linky provozované ve stejném období (musí existovat neprázdný průnik provozních dob uvedených linek).

Kdyby však bylo uvažováno se všemi zastávkami uvedeného charakteru, mohl by počet kandidátů na přestupní uzly neúměrně narůst, počet proměnných modelujících rozhodnutí o tom, zda daný kandidát bude v konečném řešení vybrán do množiny

přestupních uzlů, či nikoliv, které by byly zavedeny do matematického modelu, by mohl být značný a řešení by se mohlo zbytečně zkomplikovat (došlo by ke zbytečně dlouhé době výpočtu, mohly by být překročeny kapacitní možnosti použitého software apod.). Nehledě k existenci rizika, že by do množiny přestupních uzlů mohla být zahrnuta zastávka, která není v současné době využívána k přestupům, což by cestující veřejnost mohla hodnotit negativně.

Pro tvorbu širší množiny kandidátů na přestupní uzly neexistují v odborné literatuře žádné zásady, je tedy nutno využívat obecně uznávaná kritéria. Příkladem takového kritéria může být následující situace.

Jedná se o situaci, kdy cestující zpravidla nepřestupují uvnitř úseku, na kterém se nacházejí zastávky obsluhované stejnými linkami provozovanými ve stejné denní době. Za kandidáty na přestupní uzly je možno zvolit zastávky ohraničující daný úsek dopravní sítě. Budou to tedy zpravidla místa, ve kterých dochází k větvení dopravní sítě, případně místa, které jsou konečnými zastávkami jiných linek nebo místa která se nacházejí poblíž významných zdrojů a cílů cest. Příkladem posledně uvedeného kandidáta může být např. zastávka nacházející se v blízkosti významného obchodního centra. Cestující současně s přestupem mohou splnit také svou další potřebu, kterou může být návštěva obchodního centra, či jiné instituce.

Jak již bylo uvedeno, jednou z nejdůležitějších věcí, kterou je třeba při sestavě matematického modelu vykonat, je volba proměnných modelujících jednotlivá rozhodnutí a jejich definičních oborů. Z povahy rozhodnutí, které se bude v případě zařazování kandidátů na přestupní uzly do výsledné množiny přestupních uzlů konat, přichází v úvahu rozhodování typu ANO – NE, což z hlediska matematického modelování inicializuje volbu bivalentních proměnných. V případě definičního oboru bivalentních proměnných je rovněž důležité rozhodnout, jakým rozhodnutím budou jednotlivé hodnoty z definičního oboru přiřazeny. Při přiřazování hodnot bivalentních proměnných jednotlivým rozhodnutím konaným v rámci řešeného problému, bude uplatněna obvykle využívaná konvence a to, že nabude-li příslušná proměnná hodnoty 1, bude to znamenat kladné rozhodnutí - daný kandidát bude považován za přestupní uzel, nabude-li příslušná proměnná hodnoty 0, bude to znamenat záporné rozhodnutí - daný kandidát nebude považován za přestupní uzel. Na základě uvedené volby je tedy logické, zavést pro každého kandidáta samostatnou bivalentní proměnnou.

Soustavou omezujících podmínek musí být zajištěno, že mezi každými dvěma linkami, jejichž trasy se stýkají alespoň v jedné zastávce, bude možno minimálně v jednom uzlu

přestoupit (toto by nemuselo být zajištěno, kdyby každá linka projížděla všemi zastávkami na daném území).

4 Analýza podkladů pro optimalizační výpočet

V rámci analýzy podkladů pro optimalizační výpočet musí být zmapována všechna reálná omezení, která je za potřebí v rámci optimalizačního výpočtu dodržovat. Z existujících omezení je tedy zapotřebí vybrat pouze ta, která mají přímý vliv na optimalizační výpočet.

Řešení různých problémů pochopitelně vyžaduje dodržování různých reálných omezení. Např. v úloze o optimalizaci výrobního programu musí být dodrženy disponibilní surovinové zdroje, v úlohách o rozmisťování hromadných dopravních prostředků na linky provozované v systému městské hromadné dopravy nesmí být rozmístěno více vozidel, než má dopravní podnik k dispozici apod..

V případě řešeného problému takového typu omezení nepřicházejí v úvahu. Počty vozidel rozdělené mezi jednotlivé linky jsou známy, předpokládá se, že požadavky cestující veřejnosti z hlediska kapacity jednotlivých linek jsou splněny. Soustavou omezujících podmínek však musí být zajištěno, že je – li možno mezi spoji dvou linek přestupovat, musí tak nastat alespoň na jedné zastávce, kterou mají uvedené linky společnou.

Nedílnou součástí analýzy podkladů pro optimalizační výpočet je prověření týkající se veličin majících přímý vliv na hodnotu účelové funkce. Opět např. v úloze o výrobním programu, ve které se maximalizuje hodnota zisku z realizované produkce, musí být k dispozici údaje o zisku jednotlivých výrobků (proměnná v takovémto případě modeluje objem produkce podle jednotlivých skupin výrobků).

V případě řešeného problému však ani takovéto veličiny není zapotřebí mít k dispozici. Při výpočtu hodnoty účelové funkce si vystačíme pouze se zavedenými proměnnými.

V rámci zadaného problému bude stačit zavést do matematického modelu pouze jednu skupinu bivalentních proměnných. Není tedy zapotřebí zavádět proměnné, které by měly za cíl vytvářet vazební podmínky mezi veličinami týkajícími se reálných omezení, případně ovlivňující hodnotu účelové funkce nepřímo.

V podkapitole 4.1 bude provedena stručná charakteristika sítě linek Dopravního podniku města Olomouce.

4.1 Stručná charakteristika DPMO z pohledu řešeného tématu

V síti Dopravního podniku města Olomouce je provozováno 28 linek. Jednotlivé linky jsou provozovány buď jako linky autobusové nebo jako linky tramvajové. Co se týče počtu provozovaných autobusových linek, je v linkové síti provozováno 23 autobusových linek. Co se týče počtu provozovaných tramvajových linek, je v linkové síti provozováno 5 tramvajových linek [1].

Jednotlivým provozovaným linkám je přiřazena různá důležitost. Část sítě linek je pojata jako páteřní, zbývající linky jsou chápány zpravidla jako linky doplňkové. Páteřní síť linek je tvořena tramvajovými linkami, autobusové linky zpravidla plní funkci doplňkového systému, tzn. provádějí svoz a rozvoz cestujících od páteřní linkové sítě.

Celková délka sítě linek Dopravního podniku města Olomouce je 301 km. Délka sítě tramvajových linek činí 30 km, délka sítě autobusových linek činí 271 km [1].

V síti linek Dopravního podniku města Olomouce je zřízeno celkem 157 zastávek [1]. Uvedená množina zastávek bude tvořit skupinu, která bude základem pro sestavu širší množiny přestupních uzlů. Jak je tedy patrné, nebude při vytváření širší množiny přestupních uzlů uvažováno s dosud neexistujícími zastávkami.

Síť linek Dopravního podniku města Olomouce s vyznačením všech zastávek je uvedena v příloze předložené bakalářské práce.

4.2 Seznam kandidátů na přestupních uzly

Výběr potenciálních přestupních uzlů se uskutečňuje na základě zásad uvedených v kapitole 3. Jak vyplývá ze zadání, mají být experimenty s obecným modelem prováděny v síti linek Dopravního podniku města Olomouce, viz příloha. Jak již bylo uvedeno v předchozí podkapitole, je v síti linek zřízeno celkem 157 zastávek, které budou tvořit údajovou základnu pro sestavu širší množinu přestupních uzlů.

Výběr zastávek do širší množiny přestupních uzlů proběhne podle výše zmíněných kritérií.

Při výběru zastávek do širší množiny přestupních uzlů, se vycházelo z přestupních uzlů, ve kterých existují silné přestupní vazby, nebo ve kterých se dají očekávat přestupy. Dále byly vybírány uzly, ve kterých se stýká městská hromadná doprava s příměstskou hromadnou dopravou, uzly v jejichž okolí existují velké zdroje a cíle přepravních cest a v neposlední řadě uzly, ve kterých dochází k větvení sítě.

Na základě uvedených zásad bylo do širší množiny přestupních uzlů vybráno 13 kandidátů. Označení kandidátů odpovídá aktuálnímu názvu zastávky. Konkrétně tedy byly do širší množiny přestupních uzlů vybrány zastávky:

- 1) ČSAD
- 2) Autobusové nádraží
- 3) Hlavní nádraží
- 4) Jablonského
- 5) Finanční úřad
- 6) Na Střelnici
- 7) Koruna – Prior
- 8) Palackého – Náměstí Hrdinů
- 9) Vejdovského
- 10) Tržnice
- 11) Nové Sady, železniční zastávka
- 12) Foersterova
- 13) Šibeník

Následující část kapitoly bude věnována popisu zastávek zahrnutých do širší množiny přestupních uzlů. Popis každé zastávky bude proveden jak z hlediska situování přestupního uzlu v síti veřejné hromadné dopravy, tak z hlediska vyskytujících se nebo potenciálních přestupních vazeb a z hlediska zabezpečení přestupu.

Zastávka ČSAD

Zastávka *ČSAD* se nachází na hranici městských částí Hodolany a Holice na ulici Rolsberská. V řešeném období je zastávka obsluhována spoji dvou městských autobusových linek, a to linek číslo 19 a 25. Linka číslo 19 je vedena v trase *Tabulový vrch – Vejdovského - Hlavní nádraží - Autobusové nádraží podchod - Holice* a linka číslo 25 v trase *Hlavní nádraží - Autobusové nádraží podchod – ČSAD – Kaufland, sklad*. Kromě uvedených dvou autobusových linek městské hromadné dopravy je v řešeném období zastávka obsluhována také spoji pěti příměstských autobusových linek spojujících obce Holice, Chomoutov, Skrbeň, Velký Týnec a Tršice s autobusovým nádražím v Olomouci. Zatímco přestupy cestujících přijíždějících do Olomouce se uskutečňují, pravděpodobně na základě historických zvyklostí, již na zastávce *ČSAD*, v opačném směru

cestující přestupují zpravidla na zastávce *Autobusové nádraží*. Při přestupech ze spojů linek příměstské autobusové dopravy na spoje linek městské hromadné dopravy pokračující ve stejném směru není nutno překonávat žádnou vzdálenost ani přecházet komunikaci, zastávky linek příměstské osobní dopravy a městské hromadné dopravy jsou sloučeny do jednoho stanoviště. Při přestupech cestujících ze spojů linek příměstské autobusové dopravy na spoje linek městské hromadné dopravy v opačném směru, než byl směr příjezdu, je nutno při přecházet pozemní komunikaci. K překonání pozemní komunikace je zřízen úrovnňový přechod pro chodce, který je pro zvýšení bezpečnosti cestujících opatřen doplňkovým osvětlením. Přestupy handicapovaných občanů jsou na této zastávce možné pouze v případě, že jsou spoje obsluhovány nízkopodlažními vozidly s plošinami usnadňujícími nástup a výstup.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.1



Obr. č. 4.1: zastávka – ČSAD

Zastávka *Autobusové nádraží*

Zastávka *Autobusové nádraží* patří v současnosti ke klíčovým přestupním uzlům v síti linek veřejné hromadné osobní dopravy na území města. Je situována na ulici *Tovární* v prostoru mezi přestupními uzly *ČSAD* a *Hlavní nádraží*. Jsou zde koncentrována stanoviště většiny příměstských autobusových linek směřujících do/z města Olomouce. Z hlediska městské hromadné dopravy je zastávka v řešeném období obsluhována spoji čtyř autobusových linek, konkrétně se jedná o linky číslo 14, 15, 19, 25 a jedné tramvajové linky číslo 4. Uvedenými pěti linkami městské hromadné dopravy se mohou cestující přepravit do všech dalších významných zastávek na území města, kterými jsou *Nové Sady*,

Ahold, Tržnice, Náměstí Hrdinů, Černovír, Tabulový vrch, Vejdovského, Hlavní nádraží, Holice. Z provedených pozorování vyplývá, že zastávku v současnosti využívají k přestupům zejména cestující, kteří přijíždějí/odjíždějí do/z Olomouce příměstskými autobusovými linkami (s výjimkou přestupů uskutečňovaných na jiných zastávkách). V rámci městské hromadné dopravy nejsou na zastávce v současnosti významné proudy přestupujících cestujících. Přestupy cestujících jsou vyřešeny mimoúrovňově, cestující využívají k přestupům podchod spojující stanoviště linek příměstské autobusové dopravy se stanovišti městských autobusových linek a tramvajové linky. Přestup handicapovaných cestujících se může uskutečnit pomocí bezbariérových nájezdů.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.2



Obr. č.4.2 : zastávka - Autobusové nádraží

Zastávka *Hlavní nádraží*

Zastávka *Hlavní nádraží* je v současnosti jednoznačně nejdůležitější přestupní zastávkou na území města Olomouce. Je situována v severovýchodní části města, nejbližší významnou zastávkou je zastávka *Autobusové nádraží*. V rámci řešeného období je zastávka obsluhována vlaky osobní železniční dopravy, spoji linek městské hromadné dopravy i příměstské autobusové dopravy. Z pohledu počtu linek městské hromadné dopravy obsluhuje zastávku jedenáct linek. Uskutečňují se zde významné přestupní vazby mezi všemi uvedenými druhy dopravy. Ze zastávky *Hlavní nádraží* je v důsledku současné organizace veřejné hromadné osobní dopravy možno cestovat do všech významných zastávek na území města Olomouce, zpravidla bez přestupů. Příměstskou hromadnou dopravou je možno přepravit se do obcí *Týneček, Velký Týnec, Chomoutov* a *Skrbeň*. Přestupy z vestibulu výpravní budovy na stanoviště linek městské a příměstské autobusové

dopravy se uskutečňují v úrovni pozemní komunikace, při přestupu na/ze stanoviště tramvajových linek, na kterém se vystupuje ze směru z centra města a ze spojů městských a příměstských autobusových linek musí cestující překonat tramvajové těleso zabudované do pozemní komunikace. Přestupy handicapovaných cestujících mezi železniční dopravou a městskou a příměstskou autobusovou dopravou jsou umožněny pomocí výtahů, zřízených na jednotlivých nástupištích železniční dopravy a stanovištích autobusové a tramvajové dopravy.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.3



Obr. č. 4.3: zastávka - Hlavní nádraží

Zastávka Jablonského

Zastávka *Jablonského* se nachází v západní části města na stejnojmenné ulici. V řešeném období je obsluhována spoji tří autobusových linek městské hromadné dopravy, konkrétně se jedná o linky číslo 15, 20 a 21. Spoji linky číslo 15 je možno cestovat v relaci Černovír - Hlavní nádraží - Autobusové nádraží, podchod - Bukovany, spoji linky číslo 20 v relaci Farmak – Tržnice - Náměstí Hrdinů – Šibeník - Chomoutov a spoji linky číslo 21 v relaci Foersterova – Šibeník – Lazce - Hlavní nádraží. Zastávka *Jablonského* byla do širší množiny přestupních uzlů zahrnuta z důvodu, že za touto zastávkou, ve směru na městskou část Černovír, dochází k větvení dopravní sítě na větev vedoucí

do již zmíněné městské části a následně zpět do centra města a na větev směřující k areálu společnosti Farmak. Dá se tedy očekávat možný přestup cestujících mezi spoji linek obsluhujících uvedenou větev dopravní sítě. Přestupy se uskutečňují v úrovni pozemní komunikace při přestupu mezi spoji jedoucími stejným směrem není nutno přecházet pozemní komunikaci, při přestupu cestujících pokračujících v jízdě městskou hromadnou dopravou v opačném směru, než byl směr příjezdu spoje, ze kterého cestující vystupují, je nutno použít při přechodu pozemní komunikace úrovňový přechod pro chodce, který je opatřen z důvodu větší bezpečnosti přecházejících osob doplňkovým osvětlením. Handicapovaní občané mohou zmíněné zastávky k přestupu použít pouze tehdy, jsou - li spoje obsluhovány nízkopodlažními vozidly.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.4



Obr. č. 4.4: zastávka - Jablonského

Zastávka *Finanční úřad*

Zastávka *Finanční úřad* se nachází na jihozápadním okraji centra města na ulici Lazecká v blízkosti dalšího významné zastávky - zastávky *Na Střelnici*. V řešeném období je zastávka obsluhována spoji tří autobusových linek městské hromadné dopravy, konkrétně se jedná o spoje linek číslo 17, 21 a 22. Spoje linky číslo 17 je možno cestovat v relaci *Farmak - Náměstí Hrdinů – Tržnice - Nemilany*, spoje linky číslo 21 v relaci *Foersterova – Šibeník – Lazce - Hlavní nádraží* a spoje linky číslo 22 v relaci *Černovír - Náměstí Hrdinů – Tržnice - Šlechtitelů*. Provozované trasy linek umožňují cestovat mezi

jižní části města, městskou částí Černovír a následně k sídlu společnosti Farmak a části centra města v okolí železniční stanice Olomouc hlavní nádraží. V okolí zastávky *Finanční úřad* je vybudována hustá obytná zástavba, v blízkosti se nachází významné sídliště Lazce. Přestupy cestujících se uskutečňují v úrovni pozemní komunikace, při přestupu mezi spoji jedoucími stejným směrem není nutno přecházet pozemní komunikaci, při přestupu cestujících pokračujících v jízdě městskou hromadnou dopravou do opačného směru, než byl směr příjezdu, je nutno přejít pozemní komunikaci. K přecházení pozemní komunikace slouží úrovnňový přechod pro chodce, který je opatřen ochranným ostrůvkem s doplňkovým osvětlením. Handicapovaní občané mohou zmíněné zastávky k přestupu použít pouze tehdy, jsou-li spoje obsluhovány nízkopodlažními vozidly.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.5



Obr. č. 4.5: zastávka - Finanční úřad

Zastávka Na Střelnici

Zastávka *Na Střelnici* se nachází v blízkosti již zmíněné zastávky *Finanční úřad*. V řešeném období obsluhují zastávku tři autobusové linky městské hromadné dopravy, konkrétně se jedná o linky číslo 17, 21 a 22. Linka číslo 17 je vedena v trase *Farmak - Náměstí Hrdinů – Tržnice - Nové Sady, železniční zastávka*, linka číslo 21 je vedena v trase *Foersterova – Šibeník – Lazce - Hlavní nádraží* a linka číslo 22 je vedena v trase *Černovír - Náměstí Hrdinů – Tržnice - Šlechtitelů*. Dále je uzel obsluhován také spoji čtyř příměstských autobusových linek jedoucích do/z blízkých vesnic *Skrbeň, Horka nad Moravou a Štěpánov*. Přestupy cestujících se uskutečňují v úrovni pozemní

komunikace, při přestupech mezi spoji jedoucími stejným směrem není nutno přecházet pozemní komunikaci, při přestupu cestujících pokračujících v jízdě městskou hromadnou dopravou v opačném směru, než byl směr příjezdu, je nutno přejít pozemní komunikaci. Pro přecházení pozemní komunikace lze použít úrovňový přechod pro chodce, který je z důvodu vyšší bezpečnosti přecházejících osob vybaven doplňkovým osvětlením. Handicapovaní občané mohou zmíněné zastávky k přestupu použít pouze tehdy, jsou-li spoje obsluhovány nízkopodlažními vozidly.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č.4.6.



Obr. č. 4.6: zastávka - Na Střelnici

Dvojice zastávek *Koruna – Prior*

Dvojice zastávek *Koruna – Prior* se nachází poblíž historického centra města na ulici Pekařská. Jedná se o dvě jednosměrné zastávky, ve směru z centra města Olomouce k zastávce *Hlavní nádraží* jde o zastávku *Prior* a v opačném směru o zastávku *Koruna*. Dvojici zastávek *Koruna - Prior* v řešeném období obsluhují spoje dvou tramvajových linek - linky číslo 2 a linky číslo 4. Linka číslo 2 je vedena v trase *Neředín, krematorium – Palackého - Náměstí Republiky - Hlavní nádraží - Fibichova*, linka číslo 4 je vedena v trase *Nová Ulice - Náměstí Hrdinů - Hlavní nádraží - Pavlovičky*. Přestupy mezi spoji se uskutečňují v úrovni pozemní komunikace, při přestupu mezi spoji jedoucími stejným směrem není nutno přecházet pozemní komunikaci, při přestupu cestujících pokračujících

v jízdě městskou hromadnou dopravou v opačném směru, než byl směr příjezdu, je cestující nucen překonat těleso tramvajové trati zabudované v pozemní komunikaci. Přestupy handicapovaných občanů jsou na této zastávce možné pouze v případě, že spoje jsou obsluhovány nízkopodlažními vozidly s plošinami usnadňující nástup a výstup.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky *Koruna* je uveden na obr.č.4.7, pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky *Prior* je uveden na obr.č.4.8.



Obr. č.4.7: zastávka – Koruna



Obr. č.4.8: zastávka – Prior

Dvojice zastávek Palackého – Náměstí Hrdinů

V případě potenciálního přestupního uzlu *Palackého - Náměstí Hrdinů* se, analogicky jako v případě uzlu *Koruna – Prior*, jedná o dvě zastávky. Vzdálenost mezi nimi činí přibližně 30 m, z tohoto důvodu lze zastávku *Palackého* a zastávku *Náměstí Hrdinů* považovat za jeden potenciální přestupní uzel. Je nutné zmínit, že zastávky leží na dvou větvích dopravní sítě. První větev, na které leží zastávka *Palackého*, je využívána cestujícími jedoucími ve směru ze zastávky *Hlavní nádraží* do konečné zastávky *Neředín, krematorium* a v opačném směru. Druhá větev, na které leží zastávka *Náměstí Hrdinů*, je využívána cestujícími jedoucími ve směru z potenciálního přestupního uzlu *Hlavní nádraží* do dalších významných zastávek, jimiž jsou *Tržnice, Nová Ulice, Šibeník*, to platí i v opačném směru. Dvojice zastávek *Palackého – Náměstí Hrdinů* je situována v blízkosti centra města Olomouce. Potenciální přestupní uzel *Palackého – Náměstí Hrdinů* umožňuje v řešeném období přestup mezi dvěma tramvajovými linkami, linkou číslo 2 a linkou číslo 4, jejichž trasy byly popsány v charakteristice zastávek *Koruna - Prior*. Kromě uvedených tramvajových linek obsluhuje zastávku sedm autobusových linek městské hromadné dopravy, konkrétně se jedná o linky číslo 14, 16, 17, 18, 20, 22, 27. Uvedenými sedmi linkami městské hromadné dopravy se mohou cestující přepravit do dalších významných zastávek, kterými jsou *Nové Sady - Ahold, Tržnice, Šibeník, Černovír, Tabulový vrch, Vejvodského, Foerstrova, Hlavní nádraží, Autobusové nádraží podchod, a Holice*. Přestupy se uskutečňují v úrovni pozemní komunikace, při přestupu mezi spoji jedoucími stejným směrem není zpravidla nutno přecházet pozemní komunikaci, při přestupu cestujících pokračujících v jízdě městskou hromadnou dopravou v opačné větvi, než byla větev příjezdu, je nutno přecházet pozemní komunikaci. K přechodu pozemních komunikací lze použít dva úroňové přechody pro chodce opatřené ochrannými ostrůvky, doplňkovým osvětlením a signalizačním světelným zařízením. Přestupy handicapovaných občanů jsou na této zastávce možné pouze v případech, že spoje jsou obsluhovány nízkopodlažními vozidly s plošinami usnadňující nástup a výstup.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky *Palackého* je uveden na obr. č.4.9 , pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky *Náměstí Hrdinů* je uveden na obr.č.4.10.



Obr. č. 4.9: zastávka – Palackého



Obr. č. 4.10: zastávka – Náměstí Hrdinů

Zastávka Vejdovského

Zastávka *Vejdovského* je situována na stejnojmenné ulici v blízkosti zastávky *Hlavní nádraží*. Zastávkou jsou v řešeném období vedeny trasy dvou autobusových linek městské hromadné dopravy, konkrétně se jedná o linky číslo 13 a 19 a jedna tramvajová linka, jedná se o linku číslo 1. Tramvajová linka číslo 1 je vedena v relaci *Nová Ulice – Tržnice - Hlavní nádraží*, autobusová linka číslo 13 je vedena v trase *Týneček - Hlavní nádraží - Nový Svět* a autobusová linka číslo 19 je vedena v trase *Tabulový vrch - Hlavní nádraží -*

Autobusové nádraží - Holice. Přestupy se uskutečňují v úrovni pozemní komunikace, při přestupu mezi spoji jedoucimi stejným směrem není nutno přecházet pozemní komunikaci, při přestupu cestujících pokračujících v jízdě městskou hromadnou dopravou v opačném směru, než byl směr příjezdu, je nutno přejít komunikaci. K přechodu pozemní komunikace jsou určeny dva úrovněvé přechody pro chodce, které jsou opatřeny ochrannými ostrůvky, doplňkovým osvětlením a světelným signalizačním zařízením. Přestupy handicapovaných občanů jsou na této zastávce možné pouze v případě, že spoje jsou obsluhovány nízkopodlažními vozidly s plošinami usnadňující nástup a výstup.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.11.



Obr. č. 4.11: zastávka – Vejdovského

Zastávka Tržnice

Zastávka *Tržnice* je situována na třídě Svobody v blízkosti centra města. V dřívější době sloužila také jako ústřední autobusové nádraží. Její význam z hlediska příměstské autobusové dopravy sice poněkud poklesl, i tak však zastávka zůstává významným přestupním uzlem v rámci stávající sítě linek veřejné hromadné dopravy. Na místě dřívějšího autobusového nádraží se v současnosti nacházejí zastávky jak pro městskou, tak i příměstskou a dálkovou autobusovou dopravu, které jsou umístěny ve směru k nákupnímu centru Olympie. Z hlediska příměstské dopravy zde přestupují cestující ze/ve směru *Bělkovice, Dolany, Jívová, Tovačov, Kroměříž, Lutín, Slatinice* a do/z dalších okolních obcí a měst. Z hlediska rozmístění stanovišť jednotlivých linek je zastávka *Tržnice* řešena velmi komplikovaně. Je situována v blízkosti frekventované úrovněvé křižovatky, při přestupech spojených s přechody přes tuto křižovatku může docházet

k ohrožení bezpečnosti přestupujících cestujících. Zastávka *Tržnice* je v řešeném období obsluhována jednou tramvajovou linkou (linka číslo 1) a sedmi autobusovými linkami městské hromadné dopravy. Tramvajová linka číslo 1 je vedena ve směru *Nová ulice – Tržnice - Hlavní nádraží*. Autobusovými linkami číslo 14, 16, 17, 18, 20, 22, 27 se mohou cestující přepravit do dalších významných zastávek, kterými jsou *Nové Sady - Ahold, Tržnice, Náměstí Hrdinů, Šibeník, Černovír, Tabulový vrch, Vejvodského, Foerstrova, Hlavní nádraží, Autobusové nádraží podchod, Holice*. Jak již bylo uvedeno, přestupy se uskutečňují v úrovni pozemních komunikací, při přecházení pozemních komunikací se používají dva úrovňové přechody pro chodce, které jsou opatřeny ochrannými ostrůvky, doplňkovým osvětlením a signalizačním světelným zařízením. Přestupy handicapovaných občanů jsou na této zastávce možné pouze v případě, že spoje jsou obsluhovány nízkopodlažními vozidly s plošinami usnadňující nástup a výstup.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.12.



Obr. č. 4.12: zastávka – Tržnice

Zastávka Nové Sady, železniční zastávka

Zastávka *Nové Sady, železniční zastávka* je situována na ulici Střední novosadská v blízkosti centra města. V okolí zastávky je vybudována poměrně hustá obytná zástavba, konkrétně se jedná o sídliště Nové Sady. Zastávka *Nové Sady, železniční zastávka* je v rámci řešeného období obsluhována vlaky osobní železniční dopravy spojujícími Olomouc s obcemi *Nemilany, Kožušany, Blatec, Vrbátky, Kraličky, Vrahovice* a městem *Prostějov*. Kromě vlaků osobní přepravy je zastávka obsluhována spoji linek městské hromadné dopravy. Uskutečňují se zde tedy přestupní vazby mezi těmito druhy dopravy

navzájem. Potenciálním přestupním uzlem *Nové Sady, železniční zastávka* jsou v řešeném období vedeny tři autobusové linky hromadné městské hromadné dopravy, jedná se o linky 14, 16 a 27. Linka číslo 14 je vedena po trase *Nové Sady, železniční zastávka – Tržnice - Náměstí Hrdinů - Hlavní nádraží*, linka číslo 16 je vedena po trase *Tabulový vrch - Náměstí Hrdinů – Tržnice - Nové Sady, železniční zastávka* a linka číslo 27 je vedena po trase *Nové Sady, železniční zastávka – Tržnice - Náměstí Hrdinů - Foerstrova*. Přestupy se uskutečňují v úrovni pozemní komunikace, pokud je nutno při přestupech přecházet pozemní komunikaci, lze využít úroňový přechod pro chodce, který je opatřen z důvodu vyšší bezpečnosti cestujících doplňkovým osvětlením. Přestupy handicapovaných občanů jsou na této zastávce možné pouze v případě, že spoje jsou obsluhovány nízkopodlažními vozidly s plošinami usnadňující nástup a výstup.

Pohled na řešení stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.13.



Obr. č. 4.13: zastávka – Nové Sady, železniční zastávka

Zastávka Foersterova

Zastávka *Foersterova* je situována na stejnojmenné ulici. V okolí zastávky je vybudována obytná zástavba, jedná se o sídliště Foerstrova. Zastávku v řešeném období obsluhují čtyři autobusové linky městské hromadné dopravy. Linka číslo 12 je vedena po trase *Hlavní nádraží – Foersterova – MŽ, nový závod*, linka číslo 19 je vedena po trase *Tabulový vrch - Hlavní nádraží - Autobusové nádraží – Holice*, linka číslo 21 je vedena

po trase *Foersterova – Šibeník – Lazce - Hlavní nádraží* a linka číslo 26 je vedena ve směru *Hlavní nádraží – Foersterova – Neředín, krematorium - Topolany*. Přestupy cestujících mezi stanovišti linek na opačných stranách komunikace jsou řešeny mimoúrovňově – podchodem. Přestupy handicapovaných cestujících se mohou uskutečnit pomocí bezbariérových nájezdů.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.14.



Obr. č. 4.14: zastávka – Foerstrova

Zastávka Šibeník

Zastávka *Šibeník* je situována ulici Litovelská v blízkosti významného potenciálního přestupního uzlu tvořeného dvojicí zastávek *Palackého – Náměstí hrdinů*. Zastávka je v řešeném období obsluhována jednou autobusovou linkou městské hromadné dopravy, konkrétně o autobusovou linku číslo 20 a jednou tramvajovou linkou, konkrétně se jedná o linku č. 2. Autobusovou linkou číslo 20 je možno cestovat po trase *Farmak – Tržnice - Náměstí Hrdinů – Šibeník - Chomoutov*, tramvajovou linkou číslo 2 je možno cestovat v relaci *Neředín, krematorium – Palackého - Náměstí Republiky - Hlavní nádraží*. Přestupy se uskutečňují v úrovni pozemní komunikace, při potřebě přemístění na stanoviště ležící na protější straně komunikace lze použít úrovnový přechod pro chodce, který jsou opatřen ochranným ostrůvkem a doplňkovým osvětlením. Přestupy handicapovaných občanů jsou na této zastávce možné pouze v případě, že spoje jsou obsluhovány nízkopodlažními vozidly s plošinami usnadňující nástup a výstup.

Pohled na stavební uspořádání a dopravní řešení zastávky je uveden na obr.č. 4.15.

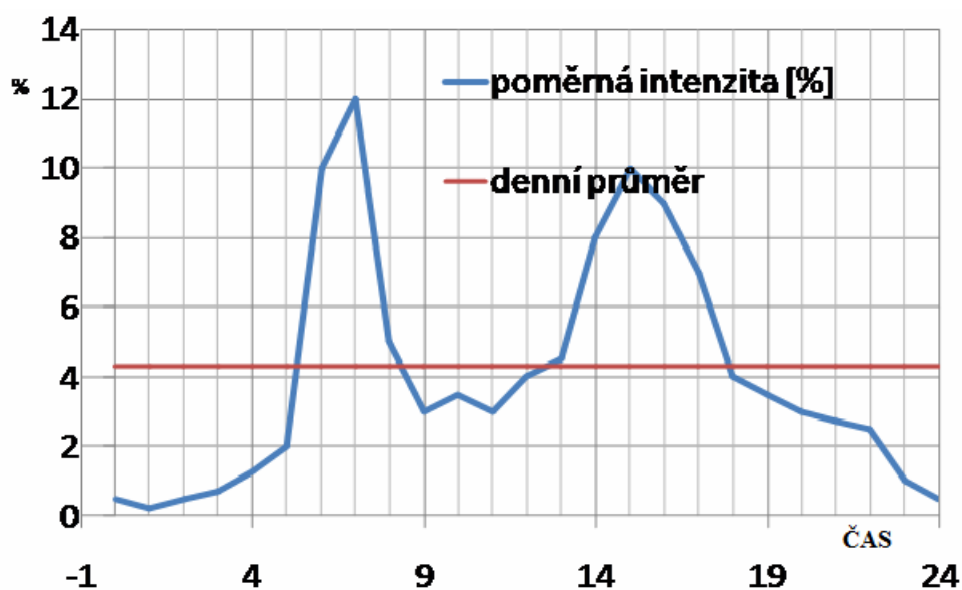


Obr. č. 4.15: zastávka - Šibeník

4.3 Výběr období pro provedení optimalizace

Řešení úlohy bude probíhat v období večerního přepravního sedla, tedy v období mezi 20:00 – 04:00. Toto období bylo vybráno záměrně, protože je z hlediska časové koordinace náročnější. Intenzita dopravy je nízká, tedy při potřebě cestujícího přestupovat v tomto období a nedostatečné časové koordinaci mohou vznikat právě zde velké časové prodlevy.

Příklad denního průběhu intenzity cestujících je uveden na obr. č. 4.16. Na vodorovné ose je čas v hodinách, svislá osa znázorňuje procento cestujících využívajících služeb v městské hromadné dopravě v průběhu dne.



Obr. č. 4.16: Přepravní sedlo[3]

5 Sestava matematického modelu pro řešení úlohy a realizace optimalizačního výpočtu

V této kapitole bude pozornost věnována problematice sestavení matematického modelu a jeho řešení, jak po stránce obecné, tak i po stránce konkrétní realizace v podmínkách Dopravního podniku města Olomouce.

5.1 Koncepce matematického modelu

Ke koncepci matematického modelu lze přistoupit různě. Při časové koordinaci lze vytvářet různé matematické modely, přičemž jejich koncepce se odvíjí zejména na optimalizačním kritériu. Tím totiž nemusí být pouze počet přestupních uzlů, ale také např. počet přestupů nebo časové ztráty cestujících, kteří přestupují. Potom pochopitelně může být optimalizační kritérium vyjádřeno různými matematickými funkcemi.

V dalším textu necht' je předpokládáno, že optimalizačním kritériem je i nadále počet přestupních uzlů (neuvažuje se tedy se změnou tvaru účelové funkce). V prvním kroku je vhodné vytvořit takovou koncepci modelu, že všichni kandidáti na přestupní uzly budou mít stejnou váhu (což pochopitelně v praxi nemusí být splněno). Nevýhodou tohoto přístupu je, že do optimálního řešení nemusí být vybrány přestupní uzly, v nichž v současnosti existují „přirozené“ přestupní vazby, např. by tedy mohlo dojít k situaci, že byt' bude železniční stanice zařazena do širší množiny přestupních uzlů nemusí být v konečném důsledku vybrána do optimálního řešení. Toto řešení pak může být předmětem oprávněné kritiky, protože železniční stanice zpravidla takovýmito přestupními uzly bývají. Při zvoleném přístupu je však železniční stanice, resp. jiný významný přestupní uzel je v modelu pojat, jako rovnocenný se všemi ostatními uzly.

Nicméně zařazení některého ze současných významných přestupních uzlů při uvažovaném modelu vyloučit nelze.

Aby ke zmíněnému problému nedošlo, existuje druhá varianta, při které se použijí omezující podmínky, které po zapsání do matematického modelu zaručí, že námi požadovaný uzel bude s určitostí vybrán do konečné množiny přestupních uzlů. Pokud tedy dojde k situaci, že některý z významných přestupních uzlů nebude do výsledného řešení zahrnut a z hlediska organizace provozu je jeho zařazení do množiny

přestupních uzlů žádoucí, je možno k řešení přistoupit tak, že se v soustavě omezujících podmínek dodatečně zohlední požadavek na zahrnutí uzlu do množiny přestupních uzlů. To se učiní způsobem, že se hodnota příslušné proměnné modelující rozhodnutí o zařazení uzlu do množiny přestupních uzlů či nikoliv, položí rovna jedné. Při použití druhé varianty matematického modelu se ovšem musí počítat i s tím, že dodatečně nařízený požadavek na existenci přestupního uzlu, může způsobit zhoršení hodnoty účelové funkce (nárůst počtu přestupních uzlů). Z navrženého postupu plyne, že řešení může probíhat i ve více fázích.

5.2 Matematický model pro minimalizaci počtu přestupních uzlů

Obecný model minimalizující počet přestupních uzlů vyžaduje následující vstupní údaje:

- trasy linek veřejné osobní hromadné dopravy,
- širší množinu přestupních uzlů U_0 .

Trasy linek veřejné hromadné dopravy

Trasy linek veřejné osobní hromadné dopravy jsou důležité zejména pro vytipování širší množiny přestupních uzlů. Jak již bylo uvedeno, mohou obsahovat jak trasy linek, které již existují, tak také trasy linek, o kterých se uvažuje, že budou do sítě linek zařazeny.

Širší množina přestupních uzlů

Širší množina přestupních uzlů je tvořena významnými místy na souběžných trasách linek. Při existenci většího počtu společných zastávek mezi dvěma nebo více linkami, může být do širší množiny přestupních uzlů zahrnuta jak jedna zastávka, tak i více zastávek.

Dále je nutné pro sestavení modelu ze širší množiny U_0 vyspecifikovat přestupní uzly pro dvojici linek i, r , mezi kterými se přestupuje, když platí, že $i > r$ a množiny linek podle jednotlivých přestupních uzlů U_{ir} .

Jak již bylo uvedeno, bude se v matematickém modelu objevovat pouze jedna skupina proměnných – bude se jednat o proměnné, které budou modelovat rozhodnutí zda zastávka bude či nebude vybrána do konečné množiny přestupních uzlů. Proměnná modelující

toto rozhodnutí ponese označení y_u , kde $u \in U_0$. Definiční obor proměnné nabývá hodnoty 0 nebo 1, přičemž nabude – li proměnná hodnoty 1, znamená to, že uzel bude vybrán do konečné množiny přestupních uzlů, v opačném případě, tedy nabude - li proměnná hodnoty 0, uzel nebude vybrán do konečné množiny přestupních uzlů.

Matematický model pro minimalizaci počtu přestupních uzlů má tvar:

$$\min f(u) = \sum_{u \in U} y_u$$

za podmínku :

$$\sum_{u \in U_{ir}} y_u \geq 1 \text{ pro } \forall i, r \in L_u; i < r$$

$$y_u \in \{0,1\}$$

Pravá strana účelové funkce je rovna součtu hodnot jednotlivých proměnných y_u , ve skutečnosti tento výraz reprezentuje počet přestupních uzlů vybraných do konečné množiny přestupních uzlů. Omezující podmínky zajistí, že pro každou dvojici linek, jejichž trasy se stýkají, bude možno přestoupit, leží – li v jejich společné části, alespoň jeden přestupní uzel a dále vymezují definiční obory jednotlivých proměnných.

5.3 Postup řešení – Software Xpress – IVE

Pro minimalizaci počtu přestupních uzlů v síti linek v městské hromadné dopravě v Olomouci bude použit optimalizační software Xpress-IVE.

K tomu, aby bylo možno vyřešit sestavený matematický model v uvedeném optimalizačním software, musí být model transformován do textu programu, se kterým optimalizační software Xpress-IVE pracuje.

Text programu se zahajuje uvedením klíčového slova **model**, do řádku obsahujícího slovo **model**, se dále zapisuje název modelu, který volí řešitel. Tento název musí být jednoslovný, chceme-li do názvu uvést více slov, je to možné, ovšem slova mezi sebou musí být vzájemně propojena znakem `_`.

Úvodní část programu musí dále obsahovat klíčové slovo **uses** doplněné o kód „**mmxprs**“. Pomocí tohoto kódu dojde k aktivaci knihovny metod, které budou k řešení problému použity. Zapsáním uvedeného řádku v textu programu, končí úvodní část programu, po níž následuje další nutná část programu - deklarační část.

1. Deklarační část začíná klíčovým slovem **declarations** a končí slovy **end declarations**.

Úkolem deklarační části programu je definovat všechny veličiny typu pole a všechny proměnné použité v modelu. Veličinami typu pole jsou všechny veličiny obsahující ve svém označení indexy. Proměnnými se myslí všechny veličiny, které mohou v průběhu výpočtu měnit své hodnoty. V deklarační části je nutno uvést všechny proměnné, které se v dané úloze vyskytují, tj. nejen proměnné typu pole (obsahují indexy), ale také proměnné, které nemají přiřazený žádný index. Definování proměnné typu pole se provádí následujícím způsobem:

X:array (Zdr,Zak) of mpvar

Definice proměnné se provádí zápisem, obsahující zvolený název proměnné, za zvoleným názvem proměnné se zapisuje dvojtečka, za dvojtečkou následuje klíčové slovo **array**, poté se zapisuje závorka, která obsahuje vymezení hodnot, které jednotlivé indexy, týkající se proměnné, vymezují. Za závorku se zapisuje klíčové slovo **of mpvar**, pomocí kterého optimalizační software identifikuje, že se jedná o proměnnou. V případě, že proměnná X není veličinou typu pole, má zápis v deklarační části textu programu tvar:

X:mpvar

Při tvorbě textu programu bývá obvyklé, že programátor doplňuje text programu určitými poznámkami, nebo vysvětlujícími komentáři, které mu umožní lepší orientaci v textu programu v budoucím období. V případě optimalizačního software Xpress-IVE se doplňující poznámky, resp. vysvětlující komentáře zapisují do textu programu tak, že se před vlastní začátek poznámky nebo komentáře uvede znak **!**. Text poznámky nebo komentáře může být uveden jak přímo v řádku obsahujícím klíčová slova, příkazy apod. (v takových to případech se zápis provádí na konec řádku), nebo může být uveden na samostatném řádku v textu programu. Tedy například:

! text poznámky nebo komentáře

Po definování proměnných, následuje definování vstupních hodnot. Definování vstupních hodnot se provádí zápisem, obsahujícím zvolené označení vstupní hodnoty (v souladu s označením zavedeným v deklarační části textu programu), za označením

vstupní hodnoty se dvakrát zapíše znak „:“. Za dvojtečkou následuje hranatá závorka, která obsahuje kvantifikaci vstupních hodnot oddělovaných mezi sebou čárkami. Při větším počtu číselných hodnot se z důvodu přehlednosti číselné hodnoty rozdělují do více řádků, podmínkou však zůstává, že každý řádek musí končit čárkou a poslední řádek končí uzavřením hranaté závorky.

Tedy například:

C:: [1,2,3,4]

anebo

C:: [1,2,
3,4]

2 a) Soustava omezujících podmínek

Soustava omezujících podmínek v optimalizačním software Xpress – IVE musí obsahovat všechny strukturální podmínky obsažené v matematickém modelu, obligatorní podmínky musí obsahovat pouze v případech, kdy jsou definiční obory proměnných tvořeny množinami celých nezáporných čísel a množinami hodnot 0, 1. V případě, že je definiční obor proměnné tvořen množinou nezáporných čísel není zapotřebí speciální zápis v optimalizačním software Xpress – IVE provádět. Zápis strukturálních podmínek je možno v případě potřeby (obsahuje – li strukturální podmínka součet) provádět zapsáním pomocí klíčového slova **sum**, za nímž následuje závorka obsahující informace o sčítaných veličinách.

Tedy například podmínku $x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1j} = 5$ zapisujeme následovně:

sum (j in zac) X (1, j) = 5

kde u symbolu **zac** musí být v deklarační části textu programu definováno, jakých hodnot nabývá.

Klíčové slovo **sum** je možno kombinovat s příkazem **cyklus** – **forall**. Způsob kombinace klíčového slova **sum** s příkazem **cyklus** je patrný z následujícího zápisu:

forall(i in zdr) sum (j in zac)X (i, j) = a (i)

kde opět u symbolu **zdr** musí být v deklarační části textu programu definováno, jakých hodnot nabývá.

2 b) Zápis účelové funkce

Zápis účelové funkce začíná zvoleným označením, zpravidla reprezentujícím název optimalizované veličiny. Kdyby bylo předmětem optimalizace minimalizovat náklady, je možné použít k označení účelové funkce pojem **naklady**. Převod mezi označením účelové funkce a vlastním funkčním zápisem se uskutečňuje prostřednictvím přiřazovacího příkazu, který má tvar „ : =“. V účelové funkci je možné používat klíčového slova **sum**. Zápis účelové funkce může tedy např. vypadat:

$$\text{naklady} := \text{sum}(i \text{ in } \text{zdr}, j \text{ in } \text{zac}) C(i,j) * X(i,j)$$

3) Pro větší přehlednost a snadnou orientaci v dosažených výsledcích umožňuje optimalizační software Xpress – IVE vypisovat jak hodnotu účelové funkce, tak i hodnoty jednotlivých proměnných.

Výpis výsledků se provádí pomocí klíčového slova **writeln**. Výpis výsledků je možno doplnit o libovolný komentář, který řešiteli umožní vyjádřit podstatu dosaženého řešení. Hodnota účelové funkce se vypisuje prostřednictvím příkazu **getobjval**. Je – li požadován výpis hodnoty účelové funkce reprezentující celkové náklady, může mít text programu např. tvar:

```
writeln(„celkové náklady jsou“, getobjval, „Kč“)
```

K výpisu hodnot jednotlivých proměnných se používá příkaz **getsol**.

Při výpisu hodnot jednotlivých proměnných je možno postupovat následovně: potřebuje – li řešitel vypsát hodnoty všech proměnných, zpravidla využije současně s příkazem **getsol** také příkaz **forall**. Požadavek na výpis může mít např. tvar:

```
forall (i in zdr, j in zac) writeln ("X",i," ",j,"=",getsol(X(i,j)))
```

V některých situacích se může jevit zbytečné vypisovat hodnoty všech proměnných. Potřebujeme – li např. vypsát pouze proměnné nabývající kladných hodnoty je nutné tento požadavek do výpisu zadat. Požadavek na výpis může mít tedy tvar:

```
forall (i in zdr, j in zac | getsol (X (i, j)) > 0) writeln ("X",i," ",j,"=",getsol(X(i,j)))
```

Program, programátor ukončí klíčovými slovy **end model** .

5.4 Realizace optimalizačního výpočtu

Konkrétní model ve výsledném tvaru prezentován nebude, ale bude uveden text programu, který byl v optimalizačním výpočtu použit. Navíc bude uvedeno několik základních informací týkajících se počtu proměnných a obligatorních podmínek. Text programu v optimalizačním software Xpress – IVE má tvar:

```
model prestupni_uzly
uses "mmxprs";
!deklarační část textu programu
declarations
!deklarování rozsahu širší množiny uzlů
    uzly=1..13
!deklarování proměnných vystupujících v modelu
    y:array(uzly)of mpvar
end-declarations
!soustava omezujících podmínek
y(3)>=1
y(3)>=1
y(3)+y(9)>=1
y(3)+y(10)>=1
y(10)>=1
y(3)+y(7)+y(8)>=1
y(3)+y(8)>=1
y(8)>=1
y(8)+y(13)>=1
y(3)+y(12)>=1
y(3)+y(9)>=1
y(2)+y(3)>=1
y(8)+y(10)+y(11)>=1
y(8)+y(10)>=1
y(2)+y(3)>=1
y(8)+y(10)>=1
y(8)+y(10)+y(11)>=1
y(4)>=1
y(3)+y(4)>=1
y(5)+y(6)+y(8)+y(10)>=1
y(1)+y(2)+y(3)>=1
y(5)+y(6)>=1
!definování účelové funkce
pocet_uzlu:=sum(u in uzly)y(u)
!příkaz optimalizace
minimize(pocet_uzlu)
!požadavek na výpis hodnoty účelové funkce
writeln("Počet uzlů je ",getobjval)
!požadavek na výpis hodnot jednotlivých kladných proměnných
forall(i in uzly|getsol(y(i))>0)writeln("y(",i,")=",getsol(y(i)))
```

!ukončení textu programu
end-model

Model má 22 strukturálních podmínek, 13 bivalentních proměnných. Doba výpočtu byla zanedbatelná. Výpočet trval 0,046s, což se dalo očekávat, protože úloha není příliš rozsáhlá.

Po ukončení optimalizačního výpočtu byly získány následující výsledky:

Počet uzlů je 5

$y(3)=1$

$y(4)=1$

$y(5)=1$

$y(8)=1$

$y(10)=1$

V závěrečném výpisu jsou uvedeny pouze proměnné, jejichž hodnoty činily 1 (uvedený požadavek byl uplatněn v textu programu).

Pomocí seznamu kandidátů na přestupní uzly, viz.kapitola 4.3, byly jako přestupní uzly byly vybrány následující zastávky: *Hlavní nádraží, Palackého – Náměstí Hrdinů, Tržnice, Finanční úřad a Jablonského.*

6 Zhodnocení dosažených výsledků a formulace souvisejících doporučení

Na základě provedeného řešení bylo k přestupu vybráno 5 uzlů. Jak je ze seznamu vybraných zastávek, uvedeného v závěru kapitoly 5, patrné, byly jako přestupní uzly vybrány tři nejvýznamnější zastávky, na kterých se přestupuje i v současnosti. Konkrétně se jedná o zastávky *Hlavní nádraží*, *Tržnice* a dvojici zastávek *Palackého – Náměstí Hrdinů*. Zcela nezávislým způsobem se tak potvrdila opodstatněnost uvedených zastávek k plánování přestupů cestujících.

Jako další přestupní uzly byly navrženy zastávky *Finanční úřad a Jablonského*.

Důvodem vybrání uvedených zastávek je především fakt, že uvedená množina uzlů umožňuje pokrýt všechny, v současnosti existující, přestupní vazby. Odebráním některého z vybraných přestupních uzlů by se narušila některá z v současnosti existujících přestupních vazeb.

Důvodem nevybrání zastávek *ČSAD*, *Autobusové nádraží* a *Vejdovského* je fakt, že všechny linky projíždějící těmito třemi zastávkami projíždějí zároveň i přestupním uzlem *Hlavní nádraží*, kde bude zajištěn případný přestup. V případě zastávky *Vejdovského* je možný přestup i v přestupním uzlu *Tržnice*.

Zastávka *Na Střelnici* nebyla jako přestupní uzel ze seznamu kandidátů vybrána z důvodu, že leží na síti linek dopravního podniku města Olomouce mezi přestupními uzly *Finanční úřad* a *Palackého – Náměstí Hrdinů*. Všechny linky projíždějící zastávkou *Na Střelnici*, projíždějí zároveň i přestupními uzly, mezi kterými zastávka leží, tedy případný přestup mezi linkami projíždějícími zastávkou *Na Střelnici* mohou cestující realizovat buď na zastávce *Finanční úřad*, nebo v přestupním uzlu *Palackého – Náměstí Hrdinů*.

Analogická situace nastává v případě zastávky *Koruna – Prior*, která leží mezi přestupními uzly *Hlavní nádraží* a *Palackého – Náměstí Hrdinů*. Její výběr do množiny přestupních uzlů by byl zcela neopodstatněný, počet přestupních uzlů by se zvyšoval nad nezbytně nutný rozsah. Linky projíždějící zastávkou *Koruna – Prior* totiž projíždějí jak přestupním uzlem *Palackého – Náměstí Hrdinů* tak přestupním uzlem *Hlavní nádraží*, přestupy tedy mohou být uskutečňovány v některém z uvedených dvou uzlů.

Co se týče zastávky *Šibeník*, je důvod nevybrání ze seznamu kandidátů na přestupní uzly stejný, jako v předchozích případech. Zastávkou *Šibeník* projíždějí tytéž linky, které projíždějí i vybraným přestupním uzlem *Palackého – Náměstí Hrdinů*.

Zastávka *Foersterova* nebyla ze seznamu kandidátů na přestupní uzly vybrána z toho důvodu, že všechny autobusové linky projíždějící zastávkou *Foersterova*, projíždějí také přestupním uzlem *Hlavní nádraží*.

Analogická situace nastává v případě zastávky *Nové Sady*, *železniční zastávka*. Všechny linky projíždějící zastávkou *Nové Sady*, *železniční zastávka*, projíždějí přestupním uzlem *Tržnice*.

7 Závěr

Předložená bakalářská práce se zabývá problematikou minimalizace počtu přestupních uzlů v síti linek městské hromadné dopravy. Zabývat se optimalizací přestupních uzlů je důležité zejména ze dvou důvodů, první důvod je důležitý z hlediska cestujících – snížením počtu přestupních uzlů dojde ke zpřehlednění orientace cestujících v síti linek Dopravního podniku města Olomouce, druhý důvod je důležitý z hlediska dopravce – bude moci koordinovat spoje jednotlivých linek v menším počtu přestupních uzlů.

Úvodní části práce jsou věnovány teoretickým východiskům, na základě kterých bude řešení probíhat. Jako řešící aparát byly zvoleny metody lineárního programování. Předložená práce obsahuje sestavený lineární model, který byl následně aplikován do podmínek sítě linek Dopravního podniku města Olomouce. Po sestavení matematického modelu bylo nutno provést jeho transformaci do textu programu pro potřeby optimalizačního software Xpress – IVE, ve kterém vlastní řešení proběhlo. Závěrečné kapitoly práce obsahují dosažené výsledky, které byly následně zhodnoceny. Všechny přestupní vazby, které v současnosti v řešeném období existují, byly zachovány.

Optimalizační kritérium v řešeném modelu – počet přestupních uzlů, je jedním z více možných kritérií, které může řešitel volit. Dalšími kritérii může být např. časová ztráta cestujících, kteří přestupují apod.. Použití těchto kritérií by však vyžadovalo provedení rozsáhlých dopravních průzkumů, které by byly nejen časově, ale i finančně náročné.

Jako s další možností zdokonalení základního modelu prezentovaného v předložené práci, je možno uvažovat se zapracováním přestupních vazeb mezi spoji linek Dopravního podniku města Olomouce a spoji linek veřejné příměstské autobusové dopravy, případně volit jiné optimalizační kritérium.

Použitá literatura

- [1] <http://www.dpmo.cz/default.asp?str=zajimavosti>
- [2] <http://www.dpmo.cz/plan-site.asp>
- [3] <http://homen.vsb.cz/~s1i95/mhd/>
- [4] Jízdní řád Dopravního podniku města Olomouce – platnost od 1.6 2009
- [5] Černý, J.; Kluvánek, P.: Základy matematickej teórie dopravy. Bratislava: VEDA, 1990. 279 s. ISBN 80 – 224 – 0099 - 8
- [6] Surovec, P.: Provoz a ekonomika silniční dopravy I. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2009. 119 s. ISBN 80 – 7078 – 735 - X

Seznam příloh

- 1 Mapa sítě linek Dopravního podniku města Olomouce s vyznačenými kandidáty na přestupní uzly